CONTROL AND MANAGEMENT OF RADIATION ENVIRONMENT IN GREENHOUSES

Yuan Shen

Associate Professor
Department of Soil Science, National Chung-Hsing University

ABSTRACT

Incident solar radiation on earth can be divided into three regions, ultra-violet (300–400 nm), visible (400–700 nm) and near-infrared (700–3000 nm); and the energy contained are 3%, 44%, and 53%, respectively. Although energy in the visible region can be used by photosynthesis, radiant energy in the other two regions can only be converted into heat and then raise temperature in greenhouses. Therefore, to reduce as much near-infrared as possible and adjust the amount of visible light based on crop needs is the first goal in controlling and managing the radiation environment in greenhouses. The heat in the greenhouse will radiate outwardly in the form of longwave radiation (3–100 μm). Thus, the second goal is to let longwave radiation to be released as much as possible.

Optical properties of commonly used covering materials, glass, PE and PVC films, are compared with an ideal covering material and found to be unsatisfied. Discussions about how to reduce incident near-infrared have been given and materials that selectively absorb or reflect near-infrared, such as CO_2, have also been pointed out. However, researchs on developing practical techniques and suitable materials are still needed.

溫室自動化系統功能之探討

張 祖 亮*
國立台灣大學園藝系

摘 要

近年來，設施園藝在本省日漸受到重視，然其成功與否的關鍵之一，在於能否成功地控制設施內的環境。為控制環境而使用之設施，可分為利用各種自然資源及能源，並減少人工能源消耗的被動型，與消耗大量人工能源及人力支出的主動型兩大類。由於主動型的控制較佳，若能符合經濟效益的原則，當為人們所樂於採用。為了要減低能源及人力支出，自動化或電腦化的控制便成為必然的趨勢。雖然，以本省目前的工業技術水準而言，應足以擔負此任務；但農業生產所涉及的因素極多，雖然要求的反應速度及精密度不若工業控制般的嚴格，然而要慮及的範圍則大得多，因此系統便複雜起來。在此首先由功能性的著眼，加以探討。

在資訊工業及相關工業蓬勃發展的時代潮流中，未來的農業生產結構將出現不同的生產模式。因為市場的需求、銷售行情、價格、銷量等資訊，可迅速地傳至生產單位。透過生產者的組織，與產量預測和天氣預報相結合，使產銷計畫配合各因應措施，務期將風險降至最小。以上的產銷模式，將待全面性資訊網路的建立後，始克完成。當前的溫室自動化，將著重於環境控制及作物生長模式的建立，及整合目前各具單獨功能的控制器，予以系統化控制。利用作物生長模式來進行環境控制，可經由資料庫及具推理功能的知識庫之規則，推定擬採行的步驟，從而達成高產或高品質的預定目標。環境控制機構則要講求可靠、穩定、省能源、維修易而且便宜。操作上除要求最少的人工外，實際運作時操作人員要安全、舒適而有效率。

本文以臺灣大學園藝學系所引進的荷蘭連幢式精密溫室為例，說明在實施溫室自動化時，於設計之初即應注意的事項，以便迎頭趕上先進國家的水準。

一、前 言

當國民生活水準日漸提高，對園產品品質要求亦隨之高漲，為了適應市場的需求，採用設施以改善作物生產環境，求取產量的增加、品質的提高及調節產期的栽培方式便逐漸興起，匯集成一般所謂設施園藝的新興產業。就園藝栽培的觀點而言，所謂設施園藝乃是「以人為方式，利用

---

* 國立台灣大學園藝學系副教授

設備改良生產環境，提供園藝作物最適宜之生長條件，以達經濟生產之目的」。由此觀之，控制作物生長之環境以促使作物之生長發育依人為的意志，達成高產、高品質或調節產期等目的，乃是設施園藝不可或缺的首要工作。一般而言，為控制環境而使用的設施，依其控制環境的機能可大略分成主動型與動型兩類。前者如臺灣大學園藝學系之精密溫室及一些蘭花業者所建造之玻璃溫室等屬之；其造價昂貴，使用維護不易，需要消耗大量的人工能源及人力支出，始克維持正常之運作，因此，一般多半以自動化或電腦化的方式減少能源與人工的需求。後者則如現今日漸普及的簡易溫室、溫網室及遮雨棚等屬之；其造價低，修繕維護容易，一般農家尚能負擔，因此本省已有相當的面積，此類設施其結構、覆蓋材料及控制設備皆很簡單。主要由構造物及覆蓋材料的性質決定其內部的環境。因此在設計結構時，除要考慮對太陽能的利用、風力、風向等因素外；土壤水分及覆蓋材料等的物化性質，可決定其緩衝能力的大小。由於此類設施對環境的控制屬消極被動型式，因此於架構完成時即已確定其日後所能控制環境的能力。雖然其對環境控制效果不若精密集約的主動型顯著，但其係利用各種自然資及能源為主要著眼，緩衝力較大，不致如主動控制型者，一旦失控則整個設施內的環境在極短時間內便極端異常，而使作物受害。

由於臺灣地區的設施園藝栽培尚處於起步的階段，相關於設施園藝的各項研究尚待加強，加以當今科技的進步一日千里，如何跟上時代，將各種發達的新科技擇其菁華而用之於設施園藝，實是促使本地設施園藝事業迅速發展的要旨。另一方面，自能源危機發生後，人們已意識到資源與能源的可貴；因此，雖然在經濟上的考慮是油價愈便宜，則主動型的設施即愈有利，但以長遠的大衆利益而論，多利用自然資源與能源而減少對人工資源與能源的需求，當是今後研究發展時應注意的主要對象。而為要減低能源及人力的支出，將自動化或電腦化的控制技術引入設施園藝的領域，便成為必然的趨勢。誠然，以本省目前的工業技術水準而言，應足以擔負此任務；但農業生產所涉及的因素極多，不若工業控制般的單純。在工業技術的層面上而言，農務的要求，其反應速度及精密度等，一般皆不若工業控制般的要求嚴格，然而由於要考慮的範圍大得多，即參予的因子遠超過一般的工業控制系統，因此系統便複雜起來。面對如此複雜的系統，首先宜由功能性的著眼，將系統簡單化後再探討其他事項，則可收事半功倍之效。本文據此以臺灣大學園藝學系之精密溫室為例，說明在實施溫室自動化時，於設計之初，在功能上應注意的事項，供有志從事者之參考。

二、臺灣大學園藝學系之精密溫室控制系統功能概況

臺灣大學園藝學系之精密溫室為連棟式玻璃溫室，即所謂之 Venlo 型溫室，分為 7 隔間及 1 長廊。為能抗颱防風，特別設計之強化結構，可抗瞬間最大風速每秒72m之颱風。由溫室結構來看，係鋼筋混凝土基礎，上接鍍鋅鋼架結構，另以鋁合金框外敷玻璃所組成。其基本架構及功能示意如圖 1。

各間溫室皆具有對溫度、光照、水分供應及二氧化碳濃度等條件的基本控制，且可依程式之設定，經由電腦的自動控制系統加以調整並紀錄之。

(一)溫度控制：

1.自然通風系統：

二組相對天窗的自然通風系統，含兩個獨立的操作系統，利用電動馬達、齒條和旋轉連桿，使屋頂的氣窗能做0-100%的啟閉。電腦依使用者的設定，將方向相對的兩組氣窗分別

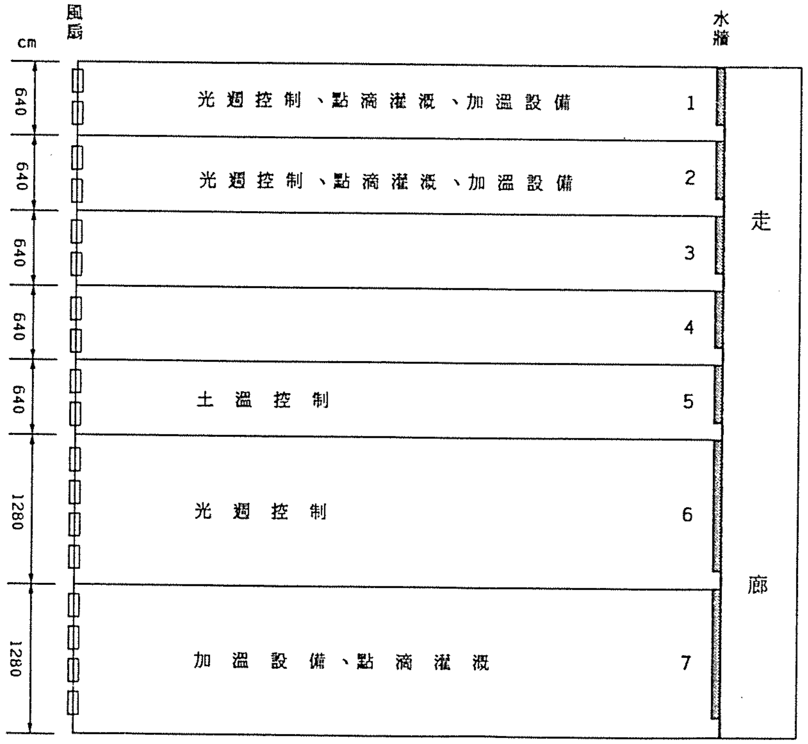

圖 1　臺灣大學園藝系精密溫室基本架構及功能示意圖

Fig. 1. Construction and Functional Diagram of the Computer-controlled Greenhouse in Department of Horticulture, National Taiwan University.

停在最有利的位置，使具最適的降溫效果，同時避免外界的冷空氣在溫室內造成大亂流，影響植物生長與發育。當室外溫度較低時，只要用自然通風系統即可，至於兩方向氣窗開啟的程度則可由電腦選擇，但背風向永遠比順風向要開得大，以保護氣窗安全並使溫室內溫度不致變化過大。

2.水牆及風扇抽風系統

當溫度過高，自然通風不足以使溫度下降時，則需要啟動本系統以降溫。系統含走廊上方供空氣進入的氣窗，走廊邊的水牆含供水系統，加上附有自動啟閉百葉窗板的排風扇。所有7間溫室均有此系統，當溫室內溫度過熱時，首先關閉屋頂自然通風的氣窗，並啟動排風扇，藉由強制氣流的流通進行氣體交換以降溫。如果外界溫度繼續上升則水牆加水，利用水牆上水分的蒸發，帶走大量的熱，此時通過水牆的空氣濕度會上升。整個系統分四個階段進行：(1)打開在走道屋頂氣窗。(2)啟動第一具風扇。(3)啟動第二具風扇。(4)啟動水牆澆水系統。各階段可有重疊的部分，或完全分開。

3.滑動遮光幕系統：

每一間溫室均設有兩組可個別控制的遮光裝置，以降低植物所接受的總輻射量，或減少在冷季時總熱量的散失。遮光裝置基本組成為兩組傳動系統，在植物和太陽光之間水平移動遮光幕，上一層遮光率約為76%，下層則為30%。此一遮光裝置在夏天能除去過多的輻射能，有降低溫室內溫度的效果，在冬季晚上則具有保溫的作用。

4.屋頂灑水系統：

當中午溫室溫度過高時尚可啟用屋頂灑水系統。此屋頂灑水系統能使進入溫室的陽光量降低，約可降低室內溫度2℃左右，並可用來清洗溫室屋頂之玻璃。此系統的水無法回收利用，除非有必要，例如溫度突然升高或長時間未下雨，使屋頂玻璃過髒時才使用。

5.土溫冷卻系統：

在第五間特別安裝有土壤降溫系統，其基本組成為：氣冷式冰水機主機及送水幫浦與土壤表面下30cm的迴流系統。冰水機的開關由電腦控制，當土溫感應器感應的溫度高過設定溫度時，即啟動冰水機使水溫下降。當出水口水溫下降至5℃時，即關掉冰水機。此系統必須確定水管內完全滿水，沒有任何氣體存在，否則土溫無法顯著下降。

6.加溫系統：

在第1、2及7間設有加溫系統，包含具可程式控制柴油燃燒器的熱水鍋爐，送熱水幫浦的輸送系統，在各間溫室內分布之管路則有混合和迴流控制系統。此加溫系統在低溫期間使用以達到所需溫度外，亦可用以烘乾清晨植物上的凝結水。

上述各系統互相配合，經電腦程式的控制後，於夏季能發揮極大的降溫效果；當氣溫35℃時，室內可保持28℃-30℃。土溫冷卻系統，於室溫28℃時，可使土溫降至18℃，加溫系統則於冬季寒流來襲時，能有效的將溫室內的溫度維持在20℃上下。

㈡光照控制：

依室外陽光的強弱，由電腦自動控制前述的遮光幕，達到不同程度的遮光效果。自動控制光照設施，有二組控制，可增加光照強度或延長照明時間。在1、2及6間安裝有同化作用光照系統，此系統依3.2×5m的設計安裝，整間溫室的輻射量大約2,000 lux。這些燈具以成行安裝，可移動燈具的設計極限為3.2×0.5m，可以達到在32㎡上約有1,7000 lux的輻射量。自動控制有兩組計時器在打破暗期上可以充分的運用於植物光週的調節上。

㈢灌溉及施肥：

裝設有噴灑灌溉、點滴灌溉及施肥管線系統。

1.噴灑灌溉系統：

每間溫室均配有獨立控制的噴灌系統，如果植物需要澆水或土壤需要清洗，除了由電腦程式控制外，亦可用手動開關，打開噴灑系統。水由外面的水槽經由PVC或鋁管管路到達植物。每次操作中，每一噴頭可依壓力控制達約200公升的供水量，噴灑時間不得超過此範圍。此外因為幫浦容量關係，只有半數溫室可同時運作。

2.點滴灌溉及施肥管線系統：

第1、2及7間有點滴灌溉系統供應。此系統組成包含水幫浦／混合單元，輸送幹線系統及單株用小滴管在每間的分布系統。此系統的主要目的，在於控制每株植物準確的供水量和在水中的正確的肥料量和pH值。可以減少水分及肥料的用量，並且對植物生長做有效控制。

三、精密溫室控制系統功能之探討

本系現有由荷蘭引進之電腦化控制精密溫室，系統架構上可偵測項目有：室外氣溫、幅射量、雨量（相對值）、風向、及室內氣溫、相對濕度、二氧化碳濃度等。可控制項有：順風向及逆風向之兩組天窗開啟位置（相對值）、兩組通風扇之開關、水牆加水泵之開關、兩組遮光幕之相對位置、加溫鍋爐之啟動與否、加溫管內水循環泵之開關、管內水溫控制流量閥之位置控制等等。該系統係由荷蘭各方面相關專家與學者，經二十多年之經驗與研究累積所得，唯終究由於當地氣候與臺灣省者差異甚大，而有不宜之處。經過二年多的實際運作之後，初步將該系統特色評估後，描述於后。

㈠精密溫室現有控制系統之特性

1.系統控制方式屬於當地控制（Local Control）：系統中各設備間之資料傳輸，均以電纜直接連繫，無法藉由電信網路等由外地遙控。

2.控制模式係複合環境控制：

溫室系統控制顯然是由多項環境因子所共同參予，而形成複雜的複合環境控制。此種控制模式因參予項目甚多，且所謂之最適環境通常並非一定值而係一範圍，在不同因子之間相互有補償的效果。而為了避免機械設備之開關過於頻繁而易故障，常會設定一最低運轉時段或將控制時段加以區分，而形成不同的上下限範圍。因此，操作時要先設定許多參數，始克進行控制工作。此一特性係精密溫室之所以優於目前一般溫室之主因。

3.屬於集中控制系統：

除於各間溫室的控制盤上，可直接以手動控制選擇開關，加以中斷外，所有的控制皆在主電腦。因此一旦電腦發生故障，所有的溫室皆受影響。而此一溫室係典型的主動型控制，短時間的失控即會造成重大的危害，亟須注意之。

4.系統所紀錄得之數據，不利於再利用：

本系統之紀錄數據，由於除了列表機以外，並無其他的貯存設備。因而每日所測得之數據，經簡單的運算後，便由列表機印出。此後電腦記憶體內便不復存在，再利用十分困難。

5.系統控制程式無法配合本地需求，加以適度的修改：

本系統係由荷蘭各方面相關專家與學者，經二十多年之經驗與研究累積所得，由於當地氣候與本省差異甚大，在實際運作之後，有不適之處亟待加以修改。唯系統控制程式，除了某些參數可以自由設定之外，有關程式本身的法則便無法加以更動，不適合研究工作之用。但若作為生產專用的溫室，則此種作業系統將十分有效，而且不易出錯。

㈡現有控制系統之改善方向及步驟

1.系統架構本土化：

本溫室所有的硬體及軟體設備，皆係由荷蘭引進。主要是考慮到有關溫室電腦化控制方面的研究，當今是以荷蘭最有成就，至1985為止，荷蘭已有4,500臺之電腦用於溫室的環境控制（沈，1987）。此所以本系決定引入荷蘭式溫室之主因。同時為要提升本地此方面的水準，希望能夠徹底的使此一技術在此生根，乃採取整體輸入的方式，希求其週全。然其運轉至今，已逾二年。由於全部設備皆從荷蘭直接進口，多項零件更換不易，尤其是控制系統一旦故障，檢修困難，曠日費時，影響試驗研究甚鉅。為使此一花費三千餘萬元的設備，能有效的發揮其教學與研究的功能，根本之計，在將整個系統之本土化，庶不違背當初引入的目的，並免處處受制於人的困境。針對此一部分，擬採取下列步驟進行：

⑴現有硬體線路分析，找出I／O部分，進行室外氣溫、幅射量、雨量、風向風速及室內氣溫、相對濕度、CO_2濃度等的測定，以明瞭現有各種感測器之特性。

(2)以本系現有之 YOKOGAWA Hybrid Recorder 測量前述各項目，同時記錄各可控制項目相對應馬達，幫浦，流量閥等的狀態，並經由 IEEE-488 的介面傳至 PC 貯存，供分析之用。

(3)分析操作手冊中，各程式可供設定之參數，給予極值，以簡化模擬的流程並試尋求其整個控制系統的可能基本架構，供自行發展系統之基礎架構之用。

(4)利用機器學習的方式，監測前述之各偵測項目與控制項目，參酌程式中所給予的參數，解出其控制法則。

(5)將所得之控制模式與原系統實際運作相驗證，以確保取代該控制系統之可行性。

(6)除溫室之核心控制系統電腦之硬軟體外，其餘週邊控制設備雖較易更換，但硬體架構的維護，仍是相當的繁瑣而重要。因此在剖析控制電腦的硬軟體的同時，將思之以本地產製之產品取代之，使溫室環境控制之電腦化能確實落實生根。

2.系統功能之改良：

系統的本土化工作完成後，將進一步改良原系統之不適合本地氣候條件或栽培作物之部分，使此一控制系統更合乎本地之用。並參酌未來可能有的生產模式（見下節），重新規劃整個系統，以改良其功能。擬採行之步驟如下：

(1)將控制方式由當地改成遙控，日後更進一步建立網路的系統。

(2)各環境控制單位由目前的完全受主電腦控制狀態，轉成能獨立自主控制，但仍受主電腦所管制。

(3)利用機器學習的方式，模擬出栽培者心目中的理想控制法則，完成專家系統。

(4)完成最適化的控制模式。

(5)併入未來作物生產系統的架構中。

四、未來溫室生產系統的展望

由於各種新科技相繼發展成功，應用於農業生產上，將使未來的作物生產體系產生極大的轉變。不單是生產技術的講求，未來在整個社會層面，甚至國際間的相互供需，亦將包含其間，藉以謀求有限資源的最佳化利用。此勢必要藉助資訊的快速取得，與大量資料的分析工作。其所以致此，皆要拜資訊工業發達之賜。Kozai（1985）即提出一個將設施園藝生產，楔合於未來農業作物生產的模式（圖2，Kozai，1988）。其以各大型的核心電腦主機（Coreprocessor）為單位，個自形成一個網路體系。而各體系間亦能相通，以謀求跨國的、不同產業間的或不同地區間的溝通和聯繫。其下有泛用電腦主機（Hostprocessor），具有本身的知識庫與資料庫，可提供較有限度的判斷資訊。更下層則有眾多的子電腦（Subprocessor）系統，每個單獨控制一個或數個的生產區域。此種架構預計在1990年代的初期即可實現。其特色如下：

(一)種苗的供應：經生長點而來的組織培養苗，人工種子和穴植苗的大量供應，皆以自動化的生產單位產生。

(二)生產單位：可以是主動式或被動式的設施，亦可以是開放的田間。由組織培養而來的種苗部分，有時可能要先經過馴化裝置才移到設施或田間。

(三)多用途的農用機器人：取代大部分的人工，具備有智慧型的感測器及專家系統，有自動判別的能力。

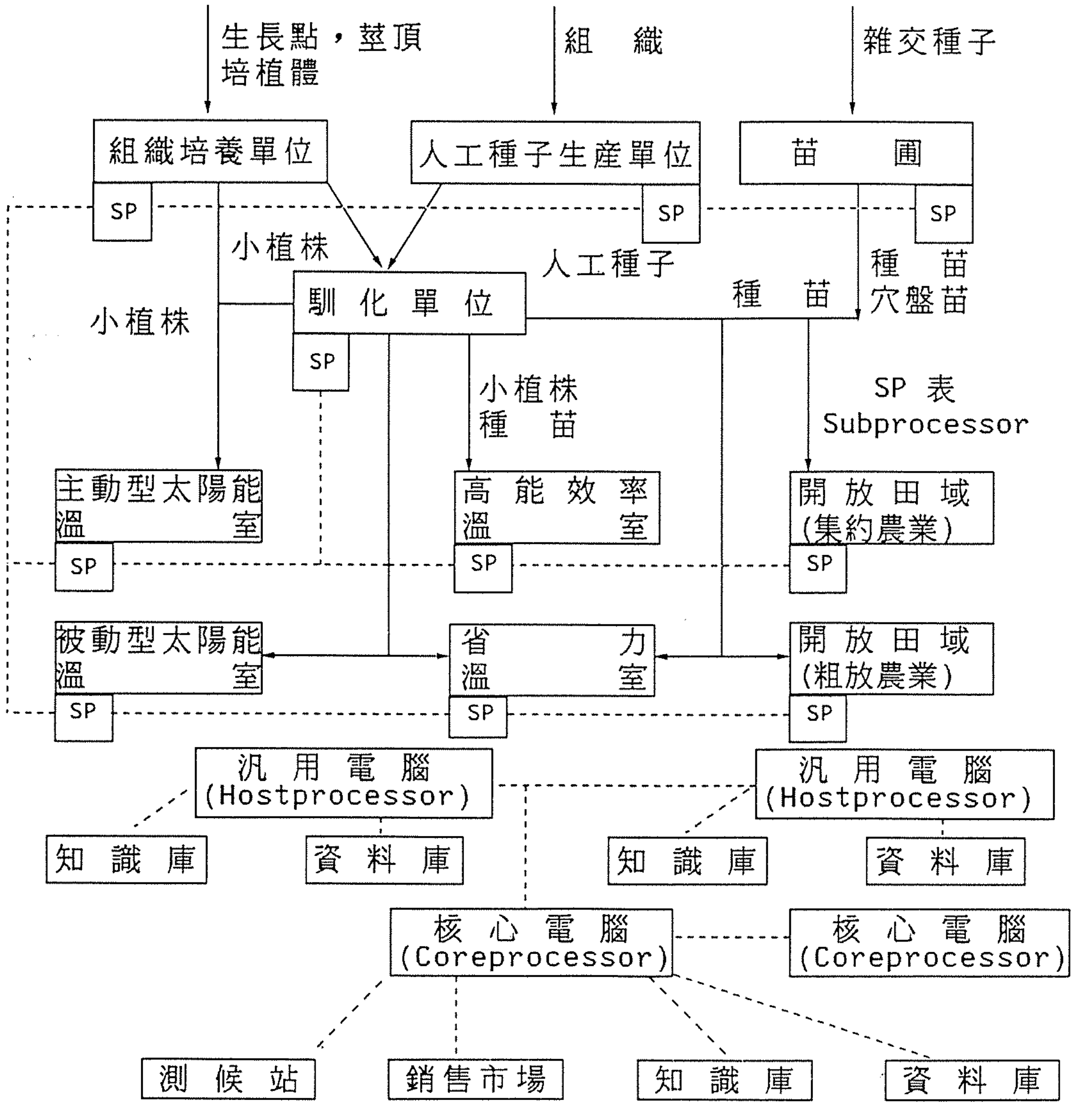

圖 2　未來溫室作物生長系統構成（改繪自 Kozai，1988）

Fig. 2. Schematic Diagram of a Greenhouse Crop Production System (redrawn after Kozai, 1988)

(四)作物與環境資料的取得：以各種的物理、化學、生物的感測器，不斷地收集資料，傳送給子電腦或機器人，供其決定下一步驟的動向。

(五)收集資料的分析：由生產區收集到的資料送往一般泛用電腦主機分析，所得的結果保存在其資料庫或知識庫中，或者傳送給核心電腦貯存。

(六)整體資訊的研判：將由氣象站、市場等其他方面得到的資料併入，以進行較詳盡的分析。分析軟體可自有或由核心電腦提供。分析的結果可供生產者下最後的判斷，或擬定生產作業計劃。某些主動型的系統則可不待生產者決定即自行由系統決定下一步驟，但其主權有限，通常是控制實務上的授權可由系統自主決定。

上述生產系統若要實現，至少有三方面的配合：(一)電腦化智慧資訊網路系統及子系統的建立；(二)自動化技術的發展，使資料讀取及自動控制順利；(三)新資材的開發利用，使智慧型感測，環

境控制等技術更便宜而易行。如此，這種生產模式才有實際應用的可能。基於以上的認識，未來園藝生產系統，以本省的技術，建立出一個此類模式的雛型應是可行的。但實際運作，則尚有待相關條件的配合，如產銷的合理化，氣象預測的準確化等。

五、結　　語

表面上看起來，前面所描述的似乎與現在的景象有段差距。但科技發展的步伐愈來愈快，已有許多的新技術應用在日常生活中而不自覺。環境控制、作物經營管理、病蟲害診斷、能減少支出而增加收益的智慧型資訊系統等等的各式專家系統；經由公衆電傳視訊網路而對遠地溫室環境之遙控系統；個人電腦網路系；各種資訊、數據取得及分析整理系統；智慧型感測器的開發；多用途農用機器人的使用；大量繁殖種苗系統的之建立等；各種技術有的已開始應用於園藝生產上，有的則應用在不同的領域，譬如工業、醫學、金融、資訊等方面。因此今天要講設施園藝生產的自動化，不但不是遙不可及，而是現在不做將來可能會後悔的。以荷蘭為例，目前該國又集合了約20位專家，研究新一代的環境控制系統（Challa等，1988）。他們的目標是將物理、植物生理、園藝及系統控制工程等領域的科學知識整合，發展出溫室栽培最佳化的控制系統。另美、日、德等國亦有利用專家系統、人工智慧等方法進行溫室環境控制（Harazono等，1988； Jones等，1988），亦有以影像處理偵測植物生長狀況，供環境控制之用（Hack，1988）。Kano及Shimaji（1988）則將作物模式配合專家系統控制環境。利用機器學習栽培者的控制理念見於Kurata（1988）。只要我們的步伐跟得上時代，則設施園藝產業將充滿光明的前途，而未來的設施園藝生產，也將是令人感到舒適且愉快的工作，因為幾乎所有的事項，皆在適當的控制之下。但在此要特別提出強調的一點是，在引入各種新科技的同時，可靠性與安全性較有效率性更為重要。而我們考慮的目標是長遠的整體利益，而非一時或少數人的利益。因此，今後的發展，除了著重於具彈性的多功能系統外，多多利用自然資源與能源，減少對人工資源與能源的需求，將是應時時銘記在心的。

參考文獻

1. 沈再發　1987　荷蘭之設施園藝概況　設施園藝研討會專集 p.15-29。
2. Challa, H., G. P. A. Bot, E. M. Nederhoff and N. J. van de Braak. 1988. Greenhouse climate control in the nineties. Acta Horticulturae 230: 459–470.
3. Hack, G. R. 1988. The use of image processing under greenhouse condition for growth and climate control. Acta Horticulturae 230: 215–220.
4. Harazono, Y., H. Kamiya and K. Yabuki. 1988. A control method based on an artificial intelligence technique and its application for controlling plant environment. Acta Horticulturae 230: 209–214.
5. Jones, P., B. K. Jacobson and J. W. Jones. 1988. Applying expert systems to real-time greenhouse controls. Acta Horticulturae 230: 201–208.
6. Kano, A. and H. Shimaji. 1988. Greenhouse environmental control system with a crop model and an expert system. Acta Horticulturae 230: 229–236.

7. Kozai, T. 1988. High technology in protected cultivation–from environment control engineering point of view. In: 'Horticulture in High Technology Era' published by 'Organizing Committee of International Symposium on High Technology in Protected Cultivation', May 10–11, 1988, Tokyo, Japan. pp. 1–43.
8. Kurata, K. 1988. Greenhouse control by machine learning. Acta Horticulturae 230: 195–200.

THE SURVEY OF THE AUTOMATED GREENHOUSE SYSTEM

Tsu-liang Chang

Associate Professor

Department of Horticulture, National Taiwan University

ABSTRACT

The protected horticulture has become an important aspect of the horticultural practice in Taiwan during the last few years. This new horticultural practice relies not only on a protecting structure (greenhouse, plastic house, tunnel. . .) but also on the proper control of the environment inside the structure. In passive protected cultivation, the structure, coverings, facilities are designed to minimize the initial and running cost, as well as maximize the use of natural energy and resources. On the other hand, the active control consumes quite a bit of artificial energy and resources. It is generally realized that the active control can get rather good performance of protected horticulture both in quality and quantity. However, the man labor and other artificial energy required for active control normally decreased the economic profit in protected horticulture. Therefore, trying to use automated and computerized control to save the energy and labor cost has become an important research area in this field. The technology required for this task has basically already available in Taiwan, nevertheless, the horticultural production requirements differ from the industry control in two areas: 1) The speed and precision are not as strict as industrial control. 2) Factors involved are more complicated than industrial control. It is, therefore, necessary for us to study this complicated controlling system from a functional perspectives in order to decide the basic requirements of automated system.

As the information science and related industry advanced progressively, the future agriculture production system will be greatly modified. The grower will have various means

to access the market demand, sales information and pricing within minimum time frame therefore their risks of economical loss will be minimized. Through the channel of grower's association, weather forecasting and market forecasting, sales and production are well regulated. The key that links the whole system is the establishment of entire information network. At present, both the information needed for environmental control which fit the crop growth model and individual controllers have not yet been systematized. The database or knowledge base required for this task can be established through the understanding of growth pattern within the controlled environment. The basic premises of proposed controlling system are reliable, stable, energy saving, easy to operate, easy to maintain and relatively inexpensive. In terms of operation, the basic requirements are less labor, higher efficiency, comfort and safety.

An example of the automated greenhouse located in Department of Horticulture, National Taiwan University was given her to illustrate some key points to design an automated greenhouse. The purpose of this study is upgrading our protected horticulture to the level of developed countries.

設施園藝研習會專集　65～75 (1989)

理想栽培介質之調製

王　才　義*

中興大學園藝學系

摘　　要

理想的溫室作物栽培介質，尤指容器栽培，可經由人工調製而獲得。這種栽培介質，如果具有可再生產性，則不必全靠天然土壤，將作物生產由被動帶向主動，也是設施園藝主要特色之一。先就介質的物理、化學、生物及經濟特性分析，然後建立標準尺度，以利作物生長期間，水分及養分的管理，藉電腦操作而達自動化生產。

植物科學家，研究植物容器栽培，特別重視栽培介質的物理特性，由於物理特性影響化學及其他特性，而且物理特性間也有交感作用。本報告強調介質粒子大小，孔隙度及有效性水分間的關係。討論專家學者如何研製栽培介質的配方，以及農民栽培者如何利用此種配方，來調製理想的栽培介質。

一、　前　　言

土壤是最重要的園藝資源之一，因為土壤是園藝作物栽培介質，提供作物根生長的環境[2,8]。作物根的固著、水分、氧氣、和重要營養要素大多取自土壤；聰明的人類在研究過土壤與作物的關係後，便大膽地使用任何無毒素的物質來栽培作物[8,15]。即使用水亦可栽培，由於營養素很容易溶於水，只要解決植株固定和供氧的問題；最近溫室作物也頗時興養液栽培，本研討會另有專節討論，因此非本報告的範圍。

設施園藝控制栽培環境，使適於作物生長，將作物生產由被動帶向主動。作物地上部的環境控制，已經有很長足的進步，但對於地下部或根的環境控制進展則較緩慢。在固定的設施下栽培作物，由於連作土壤劣變，鹽類蓄積，土壤病蟲害滋生，而產生人工調製栽培介質或添加有機物堆肥以改善作物的根環境[2,4,6,7,8,9,10,13,14,16]，不必全靠天然土壤。尤其是溫室作物常利用容器，無論是以栽植床生產切花或盆缽栽培植物，其根生長環境與在大地生長環境有很大差異：介質空間很淺又很小。因此天然的土壤常不適用，而有人工調製的必要。基本上用天然土壤上有很多不便，例如要解決連作病害必須消毒，土壤笨重不利盆花運輸，而好的土壤也不容易獲得；但人工調製的介質，可重複調製具可再生產性，經由對介質理化性等的分析，幾乎可調製獲得相同組成的栽培介質，又可避免病害及雜草，再者是重量輕，可以隨作物的不同而調製理想栽培介質等都是人工介質的有利點[16]。人工調製栽培介質方便控制根環境，是為適應容器栽培所必需。

* 國立中興大學園藝系講師